

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗБІРНИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ МЕЛІОРАТИВНИХ СИСТЕМ

Андрій КРАВЧУК¹, Олександр КРАВЧУК²

^{1,2} Київський національний університет будівництва і архітектури,
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037
¹kravchuk.am@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-8732-9244>
²kravchuk.aa2@knuba.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-6578-8896>

Анотація. В роботі на основі проведеного аналізу диференційних рівнянь, що описують рух рідини зі змінною витратою в напірних збірних дренажних трубопроводах, запропоновано методіку розрахунку ефективних конструктивних характеристик розглядуваних труб. Вважається, що зміна витрати вздовж шляху за довжиною збірника здійснюється безперервно. Досліджувана система диференційних рівнянь складається з рівняння гідравліки змінної маси і модифікованого рівняння фільтрації. Шляхом введення нових оригінальних змінних вихідна система зводиться до безрозмірного вигляду.

Під ефективними характеристиками дренажного трубопроводу в роботі розуміються параметри, при яких ґрунтові води надходять в трубу на всій її довжині з інтенсивністю не меншою за величиною ніж задана за технологічними вимогами. Показано, що величина ефективних параметрів в основному залежить від величини трьох важливих факторів: коефіцієнта опору збірному дренажному трубопроводу « ζ »; від-стані між дренажними трубами « E »; узагальненого параметра « A », який комплексно враховує конструктивні і фільтраційні характеристики розглядуваного потоку. При проведенні аналізу використано поняття фіктивного дренажного трубопроводу нескінченної довжини або трубопроводу з нескінченною фільтруючою спроможністю його бічної поверхні. При цьому забезпечується необхідний перепад напорів між рівнем ґрунтових вод і п'єзометричним напором всередині реального і фіктивного трубопроводів. Отримані розрахункові формули досить прості і зручні для використання.

Приведено приклад розрахунку ефективних характеристик реального напірного збірного дренажного трубопроводу.

© А. КРАВЧУК, О. КРАВЧУК, 2023



Андрій КРАВЧУК
професор кафедри
водопостачання та
водовідведення,
д.т.н., професор



Олександр КРАВЧУК
доцент кафедри
водопостачання та
водовідведення,
к.т.н., доцент

Представлена методіка розрахунку безумовно буде корисною при реальному проектуванні збірних дренажних труб меліоративних систем, оскільки її використання дозволить раціонально розраховувати їх параметри і за рахунок цього суттєво зменшити вартість будівництва і забезпечити оптимальні умови експлуатації меліоративних систем.

Ключові слова. Збірний дренажний трубопровід; коефіцієнт фільтрації; фільтраційний опір; гідравлічний коефіцієнт тертя; змінна витрата рідини.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У світлі глобальних викликів, таких як зміни клімату, зростання населення та вичерпання природних ресурсів, меліорація стає ключовим інструментом для сталого розвитку людства [1-3].

Комплекс меліоративних заходів допомагає підвищити врожайність сільськогосподарських культур, сприяє збереженню водних ресурсів, поліпшенню екологічного стану природи, зменшенню ризиків ерозії та деградації ґрунтів [4, 5]. Таким чином, меліорація відіграє ключову роль у сталому розвитку сільського господарства, забезпечуючи баланс між потребами людства та збереженням природних ресурсів, що є важливим аспектом досягнення глобальної стабільності [6, 7].

Одним з основних і визначальних елементів меліоративних систем можна вважати системи дренажних трубопроводів, які служать для поливу оброблюваних земель і відводу з них надлишкової води.

Розробка надійної методики інженерного розрахунку ефективних конструктивних характеристик вказаних трубопроводів, а саме, діаметра, довжини дрени та відстані укладання між ними, дозволить раціональніше використовувати їх для забезпечення заданого зниження рівня ґрунтових вод і створення оптимального режиму вологи для вирощування сільськогосподарських культур. Така методика забезпечить надійну і ефективну експлуатацію всієї меліоративної системи. Зокрема це стосується збірних трубопроводів, які застосовуються для забезпечення необхідного водного режиму роботи рисових систем, у випадку проведення промивки дренажних труб і земельних ділянок, скиді надлишкової води тощо [8, 9]. Такі режими роботи систем вважаються найбільш складними при їх експлуатації і розрахунку [10]. При цьому дренажні трубопроводи працюють в напірному режимі повним перерізом з безперервним, як правило нерівномірним, приєднанням рідини за довжиною.

Таким чином можна стверджувати, що вирішення представленої задачі дасть можливість суттєво зменшити вартість будівництва і експлуатації даних систем.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідженню роботи збірних дренажних трубопроводів присвячено велику кількість

теоретичних і експериментальних робіт вітчизняних і закордонних авторів [11-15]. Практично всі дослідники, в зв'язку із складністю задачі, при її вирішенні і описанні параметрів потоку в досліджуваних трубах, використовували ті чи інші, часто не зовсім обґрунтовані припущення. Зокрема приймалося, що дренажні труби працюють при постійній витраті ($q = const$) [16] або зміна витрати за довжиною каналу відбувається в рівномірному режимі ($q=dQ/dx=const$) [17]. В багатьох роботах при розрахунках даних труб розглядалися тільки гідравлічні питання, а фільтраційні характеристики системи не враховувались або їм приділялось недостатньо уваги [18]. Основним недоліком представленого типу розв'язків є те, що вони носять частковий характер і можуть застосовуватись тільки при відповідному достатньому обґрунтуванні.

В зв'язку з великим різноманіттям місцевих умов роботи дренажних трубопроводів, математичне описання особливостей даного руху рідини в них у загальному випадку представляє суттєві складнощі. Відповідно, аналітичний розв'язок вихідних математичних рівнянь (моделей), які описують даний рух на сьогоднішній день є досить проблематичним.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В даній роботі на основі результатів особливих досліджень пропонується методика інженерного розрахунку ефективних конструктивних характеристик напірних збірних дренажних трубопроводів. При цьому під останніми розуміють конструктивні і фільтраційні параметри труб при яких будуть забезпечуватись найбільш раціональні умови їх роботи при мінімальній будівельній і експлуатаційній вартості.

Схема роботи збірного дренажного трубопроводу приведена на рис. 1.

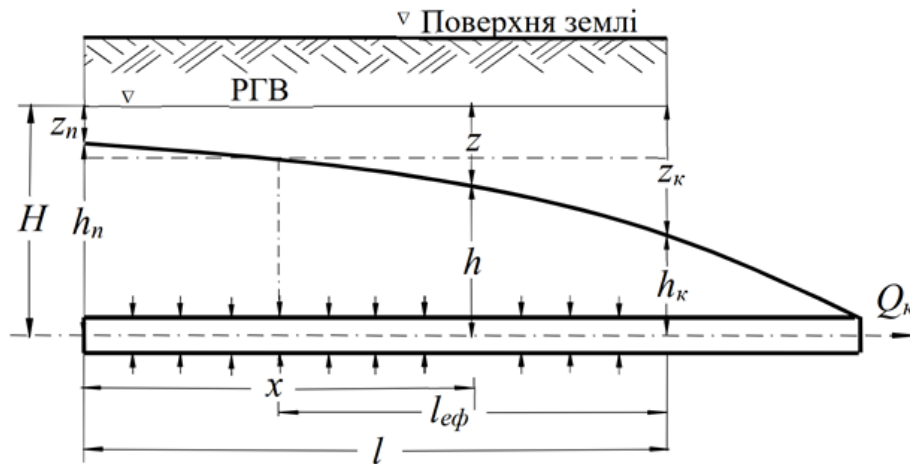


Рис.1. Схема роботи збірної дренажного трубопроводу з ефективними конструктивними характеристиками

Fig.1. Scheme of a collective drainage pipeline operation with effective structural characteristics

Як показано в багатьох роботах [19, 20] при описанні руху рідини в перфорованих дренажних трубопроводах використовувалась система диференціальних рівнянь, яка складається з рівняння руху рідини зі змінною витратою (1) і модифікованого рівняння фільтрації (2):

$$\frac{dh}{dx} + \frac{2}{g} V \frac{dV}{dx} + \frac{\lambda_{зб}}{2gD} V^2 = 0 \quad (1)$$

$$q = \frac{dQ}{dx} = \frac{d(V\Omega)}{dx} = \frac{k_{\phi}(H-h)}{\bar{\Phi}} = k_{\phi} \frac{z}{\bar{\Phi}}, \quad (2)$$

де

H – глибина занурення осі трубопроводу від рівня ґрунтових вод;

h – п'єзометричний напір в трубі;

$z=H-h$ – змінний за довжиною перепад напорів, під дією якого відбувається втікання рідини з навколишнього середовища в трубопровід;

Q, V, D, Ω – відповідно, витрата, середня швидкість, діаметр і площа живого перерізу потоку на відстані x від початку труби;

$\bar{\Phi}$ – безрозмірний фільтраційний опір дрени (його визначення представляє окрему фільтраційну задачу [21]);

k_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації ґрунту навколо труби;

$\lambda_{зб}$ – гідравлічний коефіцієнт тертя збірної дренажного трубопроводу [22, 23];

g – прискорення вільного падіння.

При аналізі математичних моделей (1) і (2) умовно вважається, що втікання рідини в трубопровід здійснюється через всю бічну поверхню збірника і шар навколишнього фільтруючого матеріалу безперервно. Режим руху рідини в дрени вважається турбулентним, а її втікання з навколишнього середовища через бічні стінки здійснюється в режимі фільтрації. Фільтраційний опір системи «ґрунт–дрена» $\bar{\Phi}$ і гідравлічний коефіцієнт тертя $\lambda_{зб}$ приймаються постійними вздовж трубопроводу і рівними їх осередненому значенню за довжиною. Кут, під яким здійснюється приєднання рідини до основного потоку в трубопроводі також є постійним і рівним $\pi/2$ [24]. Витікання рідини з дренажного трубопроводу в його кінцевому перерізі може здійснюватись як в атмосферу ($h_k=0$), так і під рівень води ($h_k \neq 0$).

Шляхом введення нових змінних

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{gz_k}}, \quad \bar{x} = \frac{k_{\phi} x}{\Omega \bar{\Phi}} \sqrt{\frac{z_k}{g}}, \quad (3)$$

$$\bar{z} = \frac{z}{z_k}, \quad dh = -z_k d\bar{z}$$

вихідна система рівнянь зводиться до безрозмірного вигляду:

$$-\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + 2\bar{V} \frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} + \zeta_{l_{зб}} A \bar{V}^2 = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d\bar{V}}{dx} = \bar{z}, \quad (5)$$

де

$\zeta_{l_{3\phi}} = \lambda_{3\phi} \frac{l}{D}$ – коефіцієнт опору збірною дренажного трубопроводу;

$A = \frac{\Omega \bar{\Phi}}{2k_{\phi} l} \sqrt{\frac{g}{z_k}}$ – узагальнений параметр збірної дрени, який враховує її конструктивні і фільтраційні характеристики.

Другий член рівняння (4) описує втрати напору, які пов'язані з ефектом приєднання рідини, третій – втрати на гідравлічне тертя за довжиною.

Як показано в роботі [25], на основі запропонованого розв'язку представленої системи рівнянь, відносну витрату в кінцевому перерізі дрени пропонується розраховувати за залежністю:

$$\bar{V}_k = \bar{V}_{k,\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty}} \right)^2} \right]. \quad (6)$$

При цьому відносний перепад напорів на початку збірника складе:

$$\bar{z}_n = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty}} \right]^3}. \quad (7)$$

Слід відмітити, що отримані залежності (6), (7) рекомендується застосовувати при довільних характеристиках збірних дренажних трубопроводів.

В приведених залежностях параметр $\bar{V}_{k,\infty}$ представляє собою відносну швидкість руху рідини в кінцевому перерізі трубопроводу нескінченної довжини. Його також можна трактувати як відносну швидкість в кінцевому перерізі трубопроводу обмеженої довжини, але з нескінченною величиною фі-

льтруючою спроможністю його бічних стінок. Даний параметр рекомендується розраховувати за залежністю:

$$\bar{V}_{k,\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{l_{3\phi}} A}} = \sqrt[3]{\frac{12k_{\phi}}{\lambda_{3\phi} \pi D \bar{\Phi}}} \sqrt{\frac{z_k}{g}}. \quad (8)$$

Однак, у випадку проектування реальних систем, при заданих розмірах меліоруваних ділянок і фільтраційних характеристиках ґрунтів, використання приведених залежностей не завжди дозволяє розраховувати ефективні конструктивні параметри збірних труб, які б забезпечували попередньо заданий режим відводу води.

В принципі збірний дренажний трубопровід може мати довільну довжину, яка буде дорівнювати довжині робочої земельної ділянки. Очевидно, що в різні частини цієї дренажної труби буде надходити різна витрата води, тобто інтенсивність збору рідини буде залежати від відстані розглядуваної ділянки до кінцевого перерізу. Чим ближче до нього, тим надходження рідини буде інтенсивнішим. На великих відстанях від кінцевого перерізу надходження рідини буде несуттєве і практично не буде впливати на витрату в кінці труби. Тобто, можна стверджувати, що вказані ділянки труби будуть працювати неефективно. І у випадку їх ліквідації режим роботи споруди і витрата рідини в кінцевому перерізі збірника практично не зміниться при суттєво меншій вартості самої споруди і витраті на її будівництво і експлуатацію.

Таким чином, під ефективними будемо розуміти характеристики збірних дренажних трубопроводів, які забезпечують відвід необхідної витрати і зниження рівня ґрунтових вод у встановлений термін. Тим самим створюючи найбільш сприятливі умови для ефективної експлуатації сільськогосподарських угідь.

Визначенню критерія ефективності роботи дренажного трубопроводу і всієї споруди або системи споруд присвячено достатню кількість робіт [12, 13, 21]. За нашими даними найбільш вдалим критерієм оцінки ефективності роботи збірною дренажного

трубопроводу, з точки зору гідравліки потоку, є прийняття таких її характеристик, які б на всіх своїх ділянках, в тому числі кінцевих, забезпечували надходження необхідної витрати води. Величина цієї витрати залежить від гідрогеологічних, метеорологічних та меліоративних характеристик ділянки і повинна забезпечувати сприятливі умови експлуатації сільськогосподарських угідь.

Зазвичай інтенсивність відводу ґрунтових вод виражається через модуль дренажного стоку q_m (л/(с·га)) або, при інфільтраційному живленні, через його інтенсивність ε (м/доб), під яким розуміють витрату води, що надходить з одиниці площі вільної поверхні потоку. Між q_m і ε справедливе співвідношення [10]:

$$\varepsilon = \frac{q_m}{116}. \quad (9)$$

Використовуючи вираз (9), мінімально допустиму витрату води, яка повинна надходити на одиницю довжини дренажної труби, при якій будуть забезпечені розрахункові умови зниження рівня ґрунтових вод і необхідний вологісний режим в ґрунті, можна визначати за залежністю:

$$q_{\min} = \left(\frac{dQ}{dx} \right)_{\min} = q_m E = 116 \varepsilon E, \quad (10)$$

де E – відстань між дренажними трубами, м.

Тобто збірні трубопроводи повинні бути запроектовані таким чином, щоб по всій їх довжині забезпечувалось надходження витрати води на одиницю довжини труби не менше ніж q_{\min} . Довжина, діаметр і інші характеристики збірного дренажного трубопроводу, при яких забезпечується дана умова, будуть називатися ефективними характеристиками.

Як слідує з рис. 1, при достатньо великій довжині збірника, або величині його фільтраційної спроможності, витрата, яка втікає в нього на початкових ділянках, стає менше мінімально допустимої величини, тобто

$q_n < q_{\min}$ (на рис. 1 ділянка труби, на якій перепад напорів z менше величини, що відсікається пунктирною лінією). Подальше збільшення довжини трубопроводу призводить до зменшення q_n . При значеннях $l \rightarrow \infty$, $q_n \rightarrow 0$.

Для можливості аналітичного визначення ефективних конструктивних характеристик даних труб проаналізуємо математичну модель за допомогою якої описують рух рідини в збірних каналах, а саме системи з двох диференціальних рівнянь: рівняння руху рідини зі змінною витратою (4) і модифікованого рівняння фільтрації через бічну стінку (5). Виразимо в нових змінних (3) мінімально допустиму зміну відносної швидкості частини потоку рідини (10), яка може надійти в збірник на одиниці його відносної довжини:

$$\bar{q}_{\min} = \left(\frac{d\bar{Q}}{d\bar{x}} \right)_{\min} = \left(\frac{d\bar{V}}{d\bar{x}} \right)_{\min} = \bar{z}_{n.ef}, \quad (11)$$

де

$$\bar{Q} = \frac{Q}{\Omega \sqrt{gz_k}} = \bar{V} - \text{відносна витрата рідини,}$$

яка чисельно дорівнює відносній швидкості в довільному перерізі дрени;

$\bar{z}_{n.ef}$ – мінімально допустиме (ефективне) значення відносного перепаду напору в початковому перерізі труби, яке забезпечує необхідну інтенсивність зниження рівня ґрунтових вод. Його можна визначати за залежністю аналогічною (7):

$$\bar{z}_{n.ef} = \frac{1}{\left[1 + \frac{1}{4A_{ef}\bar{V}_{k\infty}} \right]^3}. \quad (12)$$

Звідси ефективне значення узагальненого параметра A_{ef} буде:

$$A_{ef} = \frac{1}{4\bar{V}_{k\infty}} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{\bar{z}_{n.ef}}} - 1 \right). \quad (13)$$

Значення A_{ef} , при якому при заданій $\bar{V}_{k,\infty}$ забезпечується необхідна величина відносної швидкості в кінцевому перерізі

реального збірного трубопроводу, приведена на рис. 2.

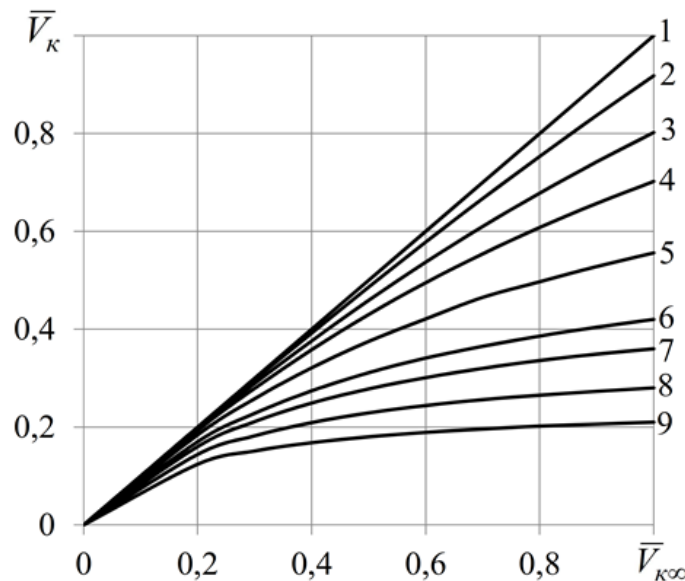


Рис.2. Графік для визначення ефективного значення узагальненого параметра A_{ef} :
 1 – $A_{ef} \rightarrow 0$; 2 – $A_{ef}=0,1$; 3 – $A_{ef}=0,2$; 4 – $A_{ef}=0,3$; 5 – $A_{ef}=0,5$; 6 – $A_{ef}=0,8$;
 7 – $A_{ef}=1,0$; 8 – $A_{ef}=1,4$; 9 – $A_{ef}=2,0$

Fig.2. Graph for determining the effective value of the generalized parameter A_{ef} .
 1 – $A_{ef} \rightarrow 0$; 2 – $A_{ef}=0,1$; 3 – $A_{ef}=0,2$; 4 – $A_{ef}=0,3$; 5 – $A_{ef}=0,5$; 6 – $A_{ef}=0,8$;
 7 – $A_{ef}=1,0$; 8 – $A_{ef}=1,4$; 9 – $A_{ef}=2,0$

З (13) ефективна довжина збірною дренажного трубопроводу (l_{ef} , м) буде становити:

$$l_{ef} = \sqrt[3]{\frac{3g\pi^2\bar{\Phi}^2 D^5}{2\lambda_{з\delta} k_{\phi}^2 z_{\kappa}}} \left(\sqrt[3]{\frac{k_{\phi} z_{\kappa}}{q_m \bar{\Phi} E}} - 1 \right). \quad (14)$$

Як правило, довжина труби визначається розмірами меліоруємої ділянки і вважається відомою при розрахунках. В цьому випадку розшукуваною величиною є ефективний діаметр труби (D_{ef} , м), який легко знайти з (14), тобто:

$$D_{ef} = \sqrt[5]{\frac{2\lambda_{з\delta} k_{\phi}^2 z_{\kappa} l^3}{3g\pi^2\bar{\Phi}^2 \left(\sqrt[3]{\frac{k_{\phi} z_{\kappa}}{q_m \bar{\Phi} E}} - 1 \right)^3}}. \quad (15)$$

Із залежності (14) або (15) при відомих l і D трубопроводу, за потреби, можна розрахувати необхідну величину відстаней між дренами E , фільтраційний опір $\bar{\Phi}$ і кінцевий

перепад напорів z_{κ} , які дозволять забезпечити ефективний режим роботи дрена і заданий режим зниження ґрунтових вод.

Наприклад, для розрахунку відстані між дренами можна рекомендувати формулу:

$$E = \frac{k_{\phi} z_{\kappa}}{q_m \bar{\Phi} \left(1 + \frac{l}{\sqrt[3]{\frac{3g\pi^2\bar{\Phi}^2 D^5}{2\lambda_{з\delta} z_{\kappa} k_{\phi}}}} \right)^3}, \text{ м.} \quad (16)$$

На основі отриманих залежностей нижче наведено приклад розрахунку конструктивних ефективних характеристик дренажного трубопроводу.

Приклад розрахунку

Визначити ефективну довжину і витрату кінцевому перерізі збірного дренажного трубопроводу з характеристиками:

$$D=0,1 \text{ м}; H=1,4 \text{ м}; h_k=0,3 \text{ м}; \lambda_{зб} = 0,035;$$

$$E=12,0 \text{ м}; q_m=0,0000005 \text{ м/с} \text{ [м}^3\text{/(с·га)]};$$

$$\Phi = \frac{\bar{\Phi}}{k_\phi} = 0,5 \text{ доб/м} = 43200 \text{ с/м}.$$

Розв'язок

1. Знаходимо перепад напорів в кінці труби:

$$z_k = H - h_k = 1,4 - 0,3 = 1,1 \text{ м}.$$

2. Розраховуємо ефективну довжину збірника за формулою (14):

$$l_{ef} = \sqrt[3]{\frac{3g\pi^2}{2} \cdot \frac{\Phi^2 D^5}{\lambda_{зб} z_k} \left(\sqrt[3]{\frac{z_k}{q_m E \Phi}} - 1 \right)} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2}{2} \cdot \frac{43200^2 \cdot 0,1^5}{0,035 \cdot 1,1} \left(\sqrt[3]{\frac{1,1}{0,0000005 \cdot 12 \cdot 43200}} - 1 \right)} = 255,5 \text{ м}.$$

3. Розраховуємо ефективне значення узагальненого параметра A_{ef} :

$$A_{ef} = \frac{\Omega \Phi}{2l} \sqrt{\frac{g}{z_k}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 43200}{8 \cdot 255,5} \sqrt{\frac{9,81}{1,1}} = 2,24.$$

4. Використовуючи (8), знаходимо максимально можливу відносну швидкість в кінці

розглядуваного трубопроводу нескінченної довжини:

$$\bar{V}_{k,\infty} = \sqrt[3]{\frac{3}{2\zeta_{зб} A}} = \sqrt[3]{\frac{12}{\lambda_{зб} \pi D \Phi} \sqrt{\frac{z_k}{g}}} = \sqrt[3]{\frac{12}{0,035 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 43200} \sqrt{\frac{1,1}{9,81}}} = 0,204.$$

5. Дійсну відносну швидкість в кінцевому перерізі збірного дренажного трубопроводу

з ефективними конструктивними характеристиками розраховуємо за формулою (6):

$$\bar{V}_k = \bar{V}_{k,\infty} \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4A\bar{V}_{k,\infty}} \right)^2} \right] = 0,204 \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{4 \cdot 2,24 \cdot 0,204} \right)^2} \right] = 0,119.$$

В розмірних одиницях, з врахуванням (3), швидкість в кінці збірника становитиме:

$$V_k = \bar{V}_k \sqrt{gz_k} = 0,119 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 1,1} = 0,39 \text{ м/с}.$$

Тобто витрата в кінці перерізу дрени складе:

$$Q_k = V_k \frac{\pi D^2}{4} = 0,39 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,0031 \text{ м}^3\text{/с}.$$

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз роботи реальних напірних збірних дренажних трубопроводів різного призначення, а також існуючих теоретичних досліджень показав, що отримати достатньо надійні і точні узагальнені формули для їх розрахунку можливо тільки при об'єднанні гідродинамічних розрахунків характеристик фільтраційного потоку у просторі навколо

дрени і гідравлічних залежностей, які описують характеристики напірного потоку рідини всередині дрени.

Отримані розрахункові формули дозволяють визначити ефективні характеристики збірних дренажних трубопроводів, що підтверджується результатами приведеного розрахунку. Представлені розрахункові формули досить прості і зручні при користуванні. Запропонована методика розрахунку безумовно буде корисною при реальному проектуванні збірних дренажних труб меліоративних систем, оскільки її використання дозволить раціонально розраховувати їх параметри і за рахунок цього суттєво зменшити вартість будівництва і забезпечити оптимальні умови експлуатації меліоративних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Schultz, B. & De Wrachien, D.** (2002). Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, 51 (4), 311-327.
<https://doi.org/10.1002/ird.67>
2. **Valipour, M., Krasilnikof, J., Yannopoulos, S., Kumar, R., Deng, J., Roccaro, P., Mays, L., Grismer, M. E. & Angelakis, A. N.** (2020). The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present. *Sustainability*, 12 (1), 416.
<https://doi.org/10.3390/su12010416>
3. **De Wrachien, D., Schultz, B. & Goli, M. B.** (2021). Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. *Irrigation and Drainage*, 70 (5), 981-995.
<https://doi.org/10.1002/ird.2597>
4. **Schultz, B., Thatte, C. D. & Labhsetwar, V. K.** (2005). Irrigation and drainage. Main contributors to global food production. *Irrigation and Drainage*, 54 (3), 263-278.
<https://doi.org/10.1002/ird.170>
5. **Gramlich, A., Stoll, S., Stamm, C., Walker, T., & Prasuhn, V.** (2018). Effects of artificial land drainage on hydrology, nutrient and pesticide fluxes from agricultural fields – A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 84-99.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.005>
6. **Smedema, L. K., Abdel-Dayem, S. & Ochs, W. J.** (2000). Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*, 14, 223-235.
<https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>
7. **Ромащенко, М. І., Балюк, С. А., Вергунов, В. А., Вожегова, Р. А., Жовтоног, О. І., Рокочинський, А. М., Тараріко, Ю. О. & Трускавецький, Р. С.** (2020). Сталий розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. *Аграрні інновації*, 3, 59-64.
<https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10>
8. **Турченко, В. О., Рокочинський, А. М., Вовк, П. П., Приходько, Н. В. & Ричко, Д. М.** (2018). Комплекс заходів з підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем. *Вісник НУБГП. Серія «Технічні науки»*, 4 (84), 3-21.
<https://doi.org/10.31713/vt420181>
9. **Козішкурт, С. М. & Турченко, В. О.** (2018). Методологічні та екологічні аспекти удосконалення розрахунку водних режимів сільськогосподарських культур *Вісник НУБГП. Серія «Технічні науки»*, 3 (87), 19-27.
<https://doi.org/10.31713/vt320192>
10. **Олейник, А. Я.** (1981). Геогідродинаміка дренажа. *Київ: Наукова думка*, 284.
11. **Дмитриев, А. Ф., Безусьяк, А. В. & Хлапук, Н. Н.** (1992). Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. *Львів: Світ*, 175.
12. **Castellano, M. J., Archontoulis, S. V., Helmers, M. J., Poffenbarger, H. J. & Six, J.** (2019). Sustainable intensification of agricultural drainage. *Nature Sustainability*, 2, 914-921.
<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>
13. **Oyarce, P., Gurovich, L. & Guarte, V.** (2017). Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143 (4), 143(4):04016082.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001134)
14. **Cherniuk, V., Hnativ, R., Kravchuk, O., Orel, V., Bihun, I. & Cherniuk, M.** (2021). The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, 7 (114), 93-103.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
15. **Кравчук, А. М. & Кравчук О. А.** (2022). Вплив величини похилу на розрахункові параметри збірних дренажних трубопроводів.

Сучасне будівництво та архітектура, 2, 88-96.
<https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-88-96>

16. Clemo, T. (2006). Flow in Perforated Pipes: A Comparison of Models and Experiments. *SPE Production & Operations*, 21 (2), 302-311.

<https://doi.org/10.2118/89036-PA>

17. Кравчук, А., Кочетов, Г. & Кравчук, О. (2020). Проектування трубопроводів для рівномірного збору води вздовж шляху. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 33, 34-40.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40>

18. Науменко, І. І. & Волощук, В. А. (2001). Математичні моделі для гідралічних розрахунків трубопроводів з дискретно зростаючими витратами. *Вісник РДТУ*, 1(8), 88-99.

19. Кравчук, А. М. & Кравчук О. А. (2021). Аналіз результатів розрахунку збірних дренажних трубопроводів при наявності транзитної витрати. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 37, 11-17.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.42-46>

20. Кравчук, А., Кравчук, О., Ломако, А. & Кравчук, О. (2022). Зміна параметрів збірних дренажних трубопроводів при пропуску транзитної витрати. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*, 41, 52-58.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.52-58>

21. Олейник, А. Я. & Поляков В. Л. (1987). Дренаж переувлажнених земель. *Київ: Наукова думка*, 279.

22. Кравчук, А. М., Чернишев, Д. О. & Кравчук О. А. (2021). Гідраліка напірних перфорованих трубопроводів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення: монографія. *Київ: КНУБА*, 204.

23. Kravchuk, A., Cherniuk, V., Kravchuk, O. & Airapetian, T. (2022). Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, 7 (119), 61-67.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>

24. Чернюк, В. В., Іванів, В. В. & Ценюх, М. Б. (2019). Нерівномірність притоку води до напірного трубопроводу-збирача залежно від кута приєднання вхідних струменів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(9), 116-120.

<https://doi.org/10.36930/40290920>

25. Kravchuk, O. A. (2021). Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 83, 130-138.

<https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>

REFERENCES

1. Schultz, B. & De Wrachien, D. (2002). Irrigation and drainage systems research and development in the 21st century. *Irrigation and Drainage*, 51 (4), 311-327.

<https://doi.org/10.1002/ird.67>

2. Valipour, M., Krasilnikof, J., Yannopoulos, S., Kumar, R., Deng, J., Roccaro, P., Mays, L., Grismer, M. E. & Angelakis, A. N. (2020). The evolution of agricultural drainage from the earliest times to the present. *Sustainability*, 12 (1), 416.

<https://doi.org/10.3390/su12010416>

3. De Wrachien, D., Schultz, B. & Goli, M. B. (2021). Impacts of population growth and climate change on food production and irrigation and drainage needs: A world-wide view. *Irrigation and Drainage*, 70 (5), 981-995.

<https://doi.org/10.1002/ird.2597>

4. Schultz, B., Thatte, C. D. & Labhsetwar, V. K. (2005). Irrigation and drainage. Main contributors to global food production. *Irrigation and Drainage*, 54 (3), 263-278.

<https://doi.org/10.1002/ird.170>

5. Gramlich, A., Stoll, S., Stamm, C., Walker, T., & Prasuhn, V. (2018). Effects of artificial land drainage on hydrology, nutrient and pesticide fluxes from agricultural fields – A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 266, 84-99.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.04.005>

6. Smedema, L. K., Abdel-Dayem, S. & Ochs, W. J. (2000). Drainage and agricultural development. *Irrigation and Drainage Systems*, 14, 223-235.

<https://doi.org/10.1023/A:1026570823692>

7. Romashchenko, M. I., Baliuk, S. A., Verhunov, V. A., Vozhehova, R. A., Zhovtonoh, O. I., Rokochynskyi, A. M., Tarariko, Yu. O. & Truskavetskyi, R. S. (2020). Sustainable development of land reclamation in Ukraine in the conditions of climate change. *Agrarian Innovations*, 3, 59-64. (in Ukrainian)

<https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10>

8. Turcheniuk, V. O., Rokochynskyi, A. M., Volk, P. P., Prykhodko, N. V. & Rychko, D. M. (2019). Complex of measures to improve the efficiency of functioning of figured extractive systems. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Technical Sciences*, 4 (84), 3-21. (in Ukrainian)

<https://doi.org/10.31713/vt420181>

9. **Kozishkurt, S. M. & Turcheniuk, V. O.** (2018). Methodological and environmental aspects of agricultural cultures water regimes calculation improvement. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. Technical Sciences*, 3 (87), 19-27. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.31713/vt320192>
10. **Oleynik, A. Ya.** (1981). Geogidrodinamika drenazha. Kyiv: *Naukova dumka*, 284. (in Russian)
11. **Dmitriev, A. F., Bezusyak, A. V. & Hlapuk, N. N.** (1992). Sovershenstvovanie osushitel'no-uvlazhnitel'nykh sistem. Lviv: *Svit*, 175. (in Russian)
12. **Castellano, M. J., Archontoulis, S. V., Helmers, M. J., Poffenbarger, H. J. & Six, J.** (2019). Sustainable intensification of agricultural drainage. *Nature Sustainability*, 2, 914-921.
<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0393-0>
13. **Oyarce, P., Gurovich, L. & Guarte, V.** (2017). Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143 (4), 143(4):04016082.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001134)
14. **Cherniuk, V., Hnativ, R., Kravchuk, O., Orel, V., Bihun, I. & Cherniuk, M.** (2021). The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, 7 (114), 93-103.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246852>
15. **Kravchuk, A. M. & Kravchuk, O. A.** (2022). Evaluation of the impact of transit flow rate on the distribution drainage pipelines characteristics. *Modern construction and architecture*, 2, 88-96. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.31650/2786-6696-2022-2-88-96>
16. **Clemo, T.** (2006). Flow in Perforated Pipes: A Comparison of Models and Experiments. *SPE Production & Operations*, 21 (2), 302-311.
<https://doi.org/10.2118/89036-PA>
17. **Kravchuk, A., Kochetov, G. & Kravchuk, O.** (2020). Pipelines designing for steady water collection along the path. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 33, 34-40. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2020.33.34-40>
18. **Naumenko, I. I. & Voloshchuk, V. A.** (2001). Matematychni modeli dlia hidravlichnykh rozrakhunkiv truboprovodiv z dyskretno zrostaiuchymy vytratamy. *Visnyk RDTU*, 1(8), 88-99. (in Ukrainian)
19. **Kravchuk, A. M. & Kravchuk, O. A.** (2021). Analysis of the results of perforated drainage pipelines calculation in the presence of transit flow rate. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 37, 42-46. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2021.37.42-46>
20. **Kravchuk, A., Kravchuk, O., Lomako, A. & Kravchuk, O.** (2022). Variation of the collective drainage pipelines parameters when passing the transit flow. *Problems of Water supply, Sewerage and Hydraulics*, 41, 52-58. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.41.52-58>
21. **Oleynik, A. Ya. & Polyakov V. L.** (1987). Drenazh pereuvlazhnenykh zemel. Kyiv: *Naukova dumka*, 279. (in Russian)
22. **Kravchuk, A. M., Chernyshev, D. O. & Kravchuk O. A.** (2021) Hidravlika napirnykh perforovanykh truboprovodiv ochysnykh sporud system vodopostachannia ta vodovidvedennia. Kyiv: *KNUBA*, 204. (in Ukrainian)
23. **Kravchuk, A., Cherniuk, V., Kravchuk, O. & Airapetian, T.** (2022). Assessing the value of the hydraulic friction factor in pipelines working with a flow connection along the path. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 5, 7 (119), 61-67.
<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265670>
24. **Cherniuk, V. V., Ivaniv, V. V., & Tsenyuh, M. B.** (2019). Dependence of non-uniformity of water inflow into pressure pipeline-collector on the angle of inflowing jets. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), 116-120. (in Ukrainian)
<https://doi.org/10.36930/40290920>
25. **Kravchuk, O. A.** (2021). Particularities of hydraulic calculation of collecting pressure drainage pipelines. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 83, 130-138.
<https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-83-130-138>

DETERMINATION OF EFFECTIVE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF COLLECTIVE DRAINAGE PIPELINES FOR MELIORATIVE SYSTEMS

*Andriy KRAVCHUK,
Oleksandr KRAVCHUK*

Summary. Methodology for calculation the effective structural characteristics of pressure collecting drainage pipelines is proposed in the paper. It is based on the analysis of the differential equations describing the movement of liquid with variable flow rate in such pipes. It is assumed that the flow rate variation along the length of the collector is taking place continuously. The studied system of differential equations consists of the variable mass hydraulics equation and the modified filtration equation., the original system is reduced to a dimensionless form by introducing new original variables.

The effective characteristics of the drainage pipeline are meant as the parameters at which groundwater enters the pipe along its entire length with an intensity no less than specified by technological requirements.

It is shown that the value of the effective parameters mainly depends on the value of three important

factors: the resistance coefficient of the collective drainage pipeline « ζ »; distances between drainage pipes « E »; the generalized parameter « A », which comprehensively takes into account the structural and filtering characteristics of the considered stream. The concept of a fictitious drainage pipeline of infinite length or a pipeline with an infinite filtering capacity of its side surface was used in the analysis. At the same time, the necessary pressure difference between the groundwater level and the piezometric pressure inside the real and fictitious pipelines is ensured. The resulting calculation formulas are quite simple and convenient to use.

The example of calculating the effective characteristics of a real pressure collecting drainage pipeline is given. The presented calculation method will certainly be useful in the actual design of prefabricated drainage pipes of reclamation systems, since its use will allow to rationally calculate their parameters and, due to this, significantly reduce the cost of construction and ensure optimal conditions for the operation of reclamation systems.

Keywords. Collective drainage pipeline; hydraulic conductivity; filtration resistance; hydraulic friction factor; variable fluid flow

Стаття надійшла до редакції 19.11.2023.